


[my account](#) [learning center](#) [patent cart](#) [document ca](#)
[home](#)[research](#) ▾[patents](#) ▾[alerts](#) ▾[documents](#) ▾**Format Examples****US Patent**

US6024053 or 6024053

US Design Patent

D0318249

US Plant Patents

PP8901

US Reissue

RE35312

US SIR

H1523

US Patent Applications

20020012233

World Patents

WO04001234 or WO2004012345

European

EP1067252

Great Britain

GB2018332

German

DE29980239

Nerac Document Number (NDN)

certain NDN numbers can be used for patents

[view examples](#)6.0 recommended
Win98SE/2000/XP**Patent Ordering**[help](#)**Enter Patent Type and Number:** optional reference note
☐ Add patent to cart automatically. If you uncheck this box then you must *click on* Publication number and view abstract to Add to Cart.
99 Patent(s) in Cart**Patent Abstract**[Add to cart](#)

GER 1998-01-15 19627938 **METHOD ABOUT THE DYNAMIC TRACK PROSECUTION IN MOVED PICTURE SEQUENCES**

INVENTOR- Garnitz, Rainer 31135 Hildesheim DE**INVENTOR-** Goldbeck, Jens 30173 Hannover DE**INVENTOR-** Hoetter, Michael, Dr. 30989 Gehrden DE**APPLICANT-** Robert Bosch GmbH 70469 Stuttgart DE**PATENT NUMBER-** 19627938/DE-A1**PATENT APPLICATION NUMBER-** 19627938**DATE FILED-** 1996-07-11**DOCUMENT TYPE-** A1, DOCUMENT LAID OPEN (FIRST PUBLICATION)**PUBLICATION DATE-** 1998-01-15
INTERNATIONAL PATENT CLASS- G06T00700;
G06F01900; G05D00100; G01P00350; G06F16500;
G06T00720; G01P00368; G05D00103B
PATENT APPLICATION PRIORITY- 19627938, A**PRIORITY COUNTRY CODE-** DE, Germany, Ged. Rep. of**PRIORITY DATE-** 1996-07-11**FILING LANGUAGE-** German**LANGUAGE-** German NDN- 203-0394-3796-7

It is proposed a video-been based procedure, that serves the dynamic track prosecution in moved picture sequences. A rake unit investigates picked up consecutive pictures a model the timewise newer picture from the picture reception unit to the description of the roadway and the relative

situation of the vehicle from two, based on the roadway model of the timewise older picture. A hierarchical procedure is applied on that occasion to the Detektion of the roadway edges.

EXEMPLARY CLAIMS- 1. Examination the model parameter of following sequence: B - . . . c. - . x. - . . 2. Demolition of the examination, as soon as a model parameter is recognized as untrustworthy. 3. Untrustworthy model parameter is held in accordance with his/its value from the estimation steadily in the preceding picture. 4. Installation of a new equation system, whose number of unknown model parameters is reduced by one, namely about the steadily held parameter. 5. New estimation all unknown, not steadily held parameters. 6. End of the algorithm, if all remaining parameters can be estimated reliably, or but all parameters steadily must be held. 7. Continuation of the algorithm with step 1. After the investigation of the new parameter sentence a_{k+1} is placed accordingly the measuring cells M_{k+1} of the new roadway model in conclusion. To the regulation of the absolute situation of the roadway edges independently of the previous model parameter sentence a_k takes place a correction of these measuring cell centers within a local search area about them/her/it from the roadway model of emerging centers of the measuring cells on the basis a Gradientenverfahrens after Fig. 8. At first, the maximum deviations become d_{max} from the variations of the parameters in accordance with her/its/their standard deviation for each roadway edge between the model curve and him/it. 81 determine $i, k+1$ emerging model curves in the current picture. These deviations let themselves transform D_{max} into real deviations so that correction areas around the roadway edges of the constant width $2D_{max}$, whose center line is formed by the respective roadway edge, are built in the reality. Under consideration of the illustration laws, these correction areas are re-transformed in picture coordinates. In accordance with a procedure confessed from publications (Kuhnert) K. D. "Zur real time picture follow analysis with prior knowledge", university of the armed forces Munich, January 1988, the contrast differences in the

NO-DESCRIPTORS

 **proceed to checkout**

Nerac, Inc. One Technology Drive . Tolland, CT
Phone (860) 872-7000 Fax (860) 875-1749

©1995-2003 All Rights Reserved . [Privacy Statement](#) . [Report a Problem](#)



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**
①⑩ **DE 196 27 938 A 1**

⑤① Int. Cl.⁸:
G 06 T 7/00
G 06 F 19/00
G 05 D 1/00
G 01 P 3/50
// G 06 F 165:00

②① Aktenzeichen: 196 27 938.0
②② Anmeldetag: 11. 7. 98
④③ Offenlegungstag: 15. 1. 98

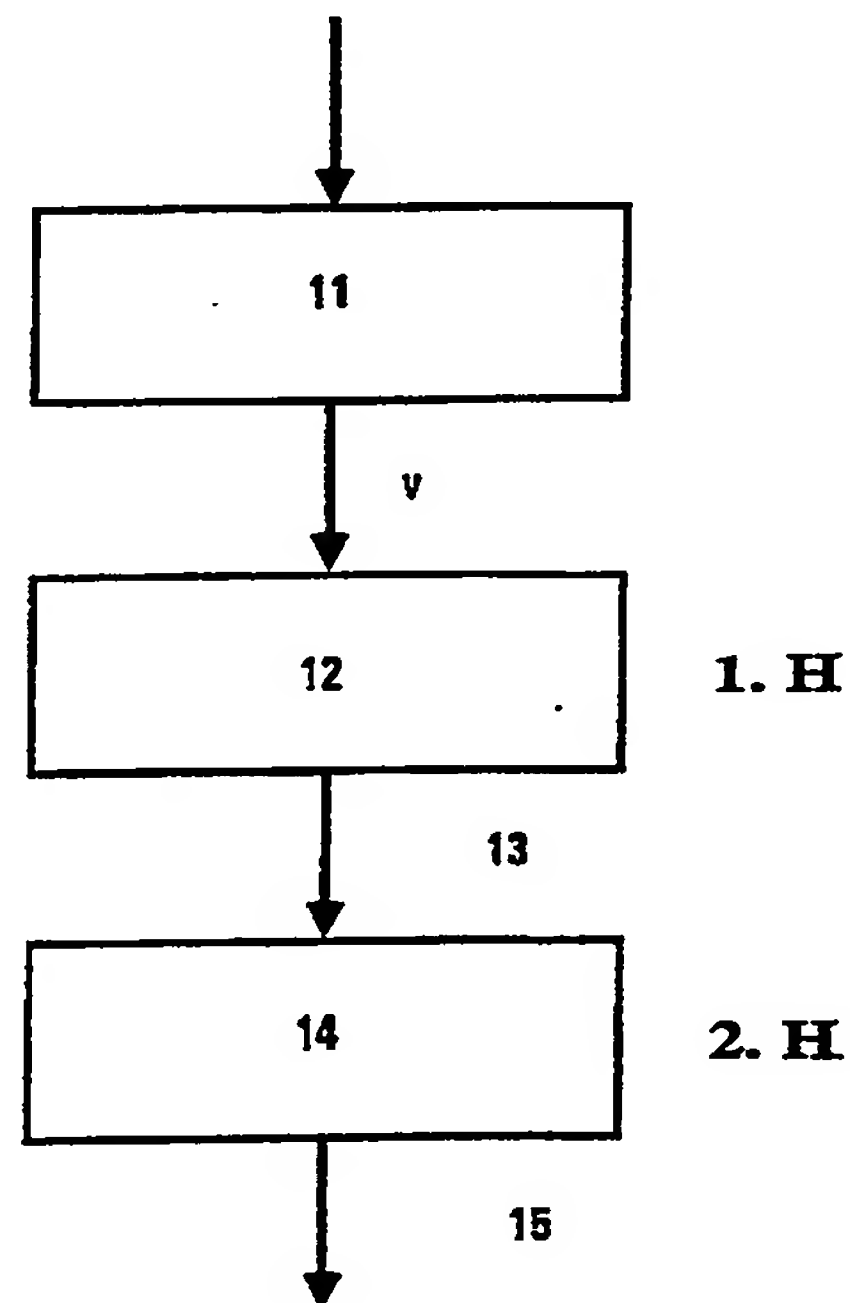
DE 196 27 938 A 1

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Garnitz, Rainer, 31135 Hildesheim, DE; Goldbeck,
Jens, 30173 Hannover, DE; Hoetter, Michael, Dr.,
30989 Gehrden, DE

⑤④ Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung in Bewegtbildsequenzen

⑤⑦ Es wird ein videobasiertes Verfahren vorgeschlagen, das der dynamischen Spurverfolgung in Bewegtbildsequenzen dient. Eine Recheneinheit ermittelt aus zwei von der Bildaufnahmeeinheit aufgenommenen aufeinanderfolgenden Bildern ein Modell zur Beschreibung der Fahrbahn und der relativen Lage des Fahrzeugs im zeitlich neueren Bild, basierend auf dem Fahrbahnmodell des zeitlich älteren Bildes. Dabei wird zur Detektion der Fahrbahnrande ein hierarchisches Verfahren angewendet.



DE 196 27 938 A 1



Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach der Gattung des Hauptanspruchs. Es sind bereits solche Bildanalyseverfahren aus der Literatur bekannt, "Real Time 3D-Road Modeling for Autonomous Vehicle Guidance" (U. Franke, 7. Skandinavische Konferenz der Bildanalyse, Aalborg, Dänemark, Seiten 316 bis 323). Das Verfahren ermittelt den Fahrbahnverlauf und die Lage des Fahrzeugs relativ zu dieser Fahrbahn aus Videobildern, die von einer Bildaufnahmeeinheit aufgenommen werden. Nach diesem Verfahren werden die die Fahrbahn beschreibenden Modellparameter anhand von Bildpunkten geschätzt, welche als zu der Fahrbahnberandung gehörend erkannt worden sind. Die Detektion dieser Fahrbahnrandpunkte ist ausschließlich gradientenbasiert und setzt das Vorhandensein gut sichtbarer heller Fahrbahnmarkierungen an beiden Fahrbahnrändern voraus. Entsprechend des Fahrbahnmodells, das eine hinreichend genaue Schätzung des Winkels liefert, unter dem die Fahrbahnrandmarkierung im Videobild verläuft, werden parallelogrammförmige Meßzellen entlang der Fahrbahnmarkierung plziert, in denen dann Kanten bekannter Steigung gesucht werden. Der Meßzelleninhalt wird entlang der vorhergesagten Kante integriert. Aus dem erhaltenen Signal wird daraufhin das Paar der lokalen Gradientenmaxima extrahiert, das mit größter Wahrscheinlichkeit die jeweiligen Fahrbahnberandungen repräsentiert. Aus den detektierten Fahrbahnrandpunkten werden dann im Fall eines überbestimmten Gleichungssystems, d. h. es werden mehr Fahrbahnrandpunkte erfaßt, als zur Bestimmung der Modellparameter notwendig sind, die den Fahrbahnverlauf und die relative Lage des Fahrzeugs zur Fahrbahn beschreibende Modellparameter geschätzt.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß es nicht mehr auf eine Einsetzbarkeit bei Fahrbahnen mit gut sichtbaren, hellen Fahrbahnmarkierungen beschränkt ist, sondern auch bei Fahrbahnen mit weniger kontrastreichen Berandungen, z. B. Grasstreifen, Rinn- und Bordsteine, eine zuverlässige Erfassung der Fahrbahnränder gewährleistet. Die Lage der Fahrbahnränder wird durch das erfindungsgemäße hierarchische zweistufige Verfahren zuverlässig ermittelt, welches durch die Suche nach ähnlichen Strukturen innerhalb interessierender Meßzellen in zwei aufeinanderfolgenden Bildern und einer anschließenden lokalen gradientenbasierten Korrektur gekennzeichnet ist.

Außerdem besteht die Möglichkeit, Parameter des Modellparametersatzes auch dann noch bestimmen zu können, wenn lediglich Bildpunkte erfaßt werden, die nur einem Fahrbahnrand zuzuordnen sind.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich.

Besonders vorteilhaft ist es, daß die durch das hierar-

chische Verfahren ermittelten Modellparameter im nächsten Meßdurchgang wieder für die Geschwindigkeitsbestimmung eingesetzt werden. Die Bestimmung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs erfolgt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Videobildern und ist für die Suche nach ähnlichen Strukturen in den Videobildern notwendig. Dazu werden im zeitlich älteren Bild Meßzellen in Abhängigkeit von angenommenen Fahrzeuggeschwindigkeiten entlang der Fahrbahnränder des Modells verschoben. Zur Erhöhung der Stabilität der Geschwindigkeitsbestimmung wird dann der Bildinhalt aller gemäß einer Geschwindigkeit verschobener Meßzellen mit dem Bildinhalt der zugehörigen Meßzellen im zeitlich neueren Bild verglichen. Durch eine statistische Auswertung der bei diesen Vergleichen gebildeten Ähnlichkeitsmaße kann die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit geschätzt werden. Dieses Verfahren der Geschwindigkeitsbestimmung ist aufgrund der Einsparung von Rechenoperationen deutlich schneller als bisher bekannte Verfahren auszuführen.

Für die Erfassung von Fahrbahnrandpunkten ist es von Vorteil, daß zur Erhöhung der Stabilität der Randpunktdetektion eine hierarchische Struktur zugrunde liegt. Dabei werden ein Such- und Gradientenverfahren angewendet. Das zunächst angewandte Suchverfahren weist eine hohe Stabilität auf, da aufgrund einer Textursuche im Gegensatz zu bisherigen Verfahren keine Fahrbahnmarkierungen benötigt werden. Das anschließende Gradientenverfahren muß zur Detektion eines Randpunktes aufgrund der Vorverarbeitung durch das Suchverfahren nur in einem kleinen lokalen Bereich angewendet werden, wodurch eine hohe Sicherheit der Fahrbahnrandpunkterfassung gewährleistet wird. Weiterhin kann die Zuverlässigkeit des Auffindens der zu verfolgenden Fahrbahnränder durch die Anwendung des Suchverfahrens wesentlich erhöht werden, da Verwechslungen der Fahrbahnränder mit benachbarten, gleichgerichteten linienhaften Strukturen, wie z. B. Grasstreifen, wie sie bei der ausschließlich gradientenbasierten Suche auftreten können, weitestgehend ausgeschlossen werden. Zudem kann der horizontale Suchbereich um einen Fahrbahnrandpunkt im zeitlich älteren Bild zur Bestimmung eines aktuellen Randpunktes aufgrund der hohen Zuverlässigkeit des Suchverfahrens größer als beim gradientenbasierten Verfahren gewählt werden, was dem erfindungsgemäßen Verfahren eine hohe Robustheit verleiht.

Während der nach der Fahrbahnrandpunktdetektion anschließenden Schätzung der Modellparameter werden die Schätzfehler der Modellparameter festgestellt. Zur Überprüfung der Genauigkeit der Schätzung eines Parameters wird nicht nur das Verhältnis zwischen Modellparameter und zugehörigem Schätzfehler herangezogen, sondern auch der Einfluß der Ungenauigkeit der Schätzung der Modellparameter auf den Kurvenverlauf der Modellbeschreibung im aktuellen Videobild betrachtet. Dazu wird jeweils durch Variation eines Modellparameters entsprechend seiner Schätzgenauigkeit eine veränderte Modellkurve erzeugt, deren Verlauf mit dem der ursprünglichen Modellkurve verglichen wird.

Ein weiterer Vorteil des vorgestellten Verfahrens liegt in seiner selbstjustierenden Eigenschaft. Falls die Anzahl der erfaßten Punkte auf einem Fahrbahnrand für eine Schätzung des vollständigen Modellparametersatzes zu gering ist, auf der anderen Berandung jedoch ausreichend viele Punkte detektiert werden können, wird ein unvollständiger Parametersatz geschätzt. Die Modellparameter, deren Schätzung nicht möglich ist,



werden unverändert aus der Modellierung des Fahr-
bahnverlaufs im vorhergehenden Bild übernommen.
Dieses Vorgehen erhöht die Zuverlässigkeit der Be-
schreibung des aktuellen Fahrbahnverlaufs durch das
Modell.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den
nachstehenden Zeichnungen dargestellt und in der
nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt
Fig. 1 ein Blockdiagramm der dynamischen Spurverfol-
gung, Fig. 2 eine Anordnung zur dynamischen Spurver-
folgung, Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel, Fig. 4 die Kom-
ponente der Geschwindigkeitsbestimmung, Fig. 5 die
Komponente des horizontalen Suchverfahrens, Fig. 6
und 7 die Komponente der Schätzung der Modellpara-
meter und Fig. 8 die Komponente der gradientenbasier-
ten Korrektur.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Abb. 1 ist ein Blockdiagramm der erfindungsgemä-
ßen dynamischen Spurverfolgung. Es wird der Modell-
parametersatz des endgültigen Fahrbahnmodells aus
zwei aufeinanderfolgenden Videobildern B ermittelt.
Dazu wird in einer ersten Hierarchiestufe (1.H) nach
einer Kompensation 11 der Fahrzeuggeschwindigkeit v
ein erster Modellparametersatz 13 auf der Grundlage
eines Suchverfahrens zur Detektion von Fahrbahnrand-
punkten 12 geschätzt. In der zweiten Hierarchiestufe
(2.H) erfolgt eine Korrektur der Lage 14 der zuvor er-
faßten Fahrbahnrandpunkte auf Gradientenbasis und
die endgültigen Modellparameter des Fahrbahnmodells
15 werden abschließend geschätzt.

Abb. 2 zeigt schematisch den technischen Aufbau des
erfindungsgemäßen Verfahrens. Eine Bildaufnahmeein-
heit 1 ist über eine Datenleitung 6 mit einer Rechenein-
heit 2 verbunden. Die Recheneinheit 2 steht wiederum
über eine Datenleitung mit der Eingabeeinheit 3 sowie
eine weitere Datenleitung 6 mit einem Speicher 4 und
mit dem Bildschirm 5 in Verbindung. Ziel des erfin-
dungsgemäßen Verfahrens ist eine möglichst genaue
Modellierung der Fahrbahn und die Bestimmung der
relativen Lage des Fahrzeugs zur Fahrbahn, indem zwei
aufeinanderfolgende Videobilder verglichen werden.
Ein bereits aus der oben genannten Veröffentlichung
bekanntes Modell legt die Fahrbahn durch sechs Mo-
dellparameter a_i fest (Fahrbahnbreite B, Nickwinkel α ,
seitlicher Versatz des Fahrzeugs bzgl. der Fahrbahnmit-
te x_0 , Gierwinkel ϕ , Fahrbahnkrümmung c_0 und der
Krümmungsänderung vernachlässigt werden darf, sind
aus der Messung der Fahrbahnrandpunkte fünf Modell-
parameter zu bestimmen. Können mehr als fünf Bild-
punkte erfaßt werden, so ist das Gleichungssystem zur
Ermittlung der Modellparameter überbestimmt, so daß
ein Modellparametersatz geschätzt werden muß.

Fig. 3 zeigt das Blockdiagramm, das die einzelnen
Schritte der dynamischen Spurverfolgung erläutert. An-
hand zweier aufeinanderfolgender Videobilder B k und
B k+1 wird zunächst die Bestimmung der Fahrzeugge-
schwindigkeit $v_{k-1,k}$ 11, siehe Fig. 4, durchgeführt. Dazu
werden Meßzellen M_{k+1} entsprechend des Fahrbahn-
modells a_i mit den Modellparametern aus der hervorge-
henden Schätzung so plziert 41, daß die jeweils unter-
ste Meßzelle eines Fahrbahnrandes gerade noch voll-
ständig innerhalb des aktuellen Bildes k+1 liegt. Die

initialen Positionen der korrespondierenden Meßzellen
 M_k sind von der zuvor bestimmten Fahrzeuggeschwin-
digkeit $v_{k-1,k}$ abhängig. Da sich die Fahrbahn und die
relative Lage des Fahrzeugs zur Fahrbahn jedoch zw-
ischen zwei Videobildern verändern, müssen Modellie-
rung und Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit ak-
tualisiert werden. Die aktuelle Geschwindigkeit des
Fahrzeugs wird dabei durch eine aus Veröffentlichun-
gen (Mester R. Hötter, M. "Zuverlässigkeit und Effizienz
von Verfahren zur Verschiebungsvektorschätzung",
DAGM 95, Bielefeld 13. — 15.09.95) bekannte statistische
Auswertung definierter Geschwindigkeiten innerhalb
eines Suchbereichs, auf den die aktuelle Geschwindig-
keit $v_{k,k+1}$ beschränkt sein soll, bestimmt 11. Dabei wird
nach einer Adaption der Größe aller Meßzellen M_{k+1}
an die jeweiligen entsprechend der Geschwindigkeit
verschobenen korrespondierenden Meßzellen M_k des
vorhergehenden Bildes und einer nachfolgenden Grau-
wertinterpolation jeder Geschwindigkeit v durch Ver-
gleich der Meßzelleninhalte ein globales Ähnlichkeits-
maß bzgl. aller Meßzellen des vorherigen und des aktu-
ellen Bildes M_k und M_{k+1} zugeordnet. Dieses Ähnlich-
keitsmaß wird als Displaced Frame Difference (DFD)
bezeichnet. Im erfindungsgemäßen Verfahren wird die
DFD-Bestimmung durch Reduktion der rechenintensiven
Operationen beschleunigt, indem die mittleren
Spaltengrauwerte der Meßzellen mit den mittleren
Spaltengrauwerten der im vorherigen Bild aufgenomme-
nen Meßzellen verglichen werden. Die mittleren Spalt-
engrauwerte der parallel zu den Meßzellenkanten ver-
laufenden Spalten werden mit dem bekannten Verfah-
ren der gerichteten Integration bestimmt (Franke, U.
Ulrich, S. "Modell gestützte Echtzeitbildverarbeitung
auf Transputern zur autonomen Führung von Fahrzeu-
gen", TAT 90, Aachen Proceedings, Springer-Verlag
1990, Seiten 182 bis 189). Deshalb wird im näheren nicht
auf das Verfahren eingegangen. Durch die Verwendung
von Spaltengrauwerten wird gegenüber bisher ge-
bräuchlichen Verfahren der DFD-Bestimmung eine
deutliche Reduzierung des Rechenaufwands erreicht.
Durch die statistische Auswertung der zu bestimmten
Geschwindigkeiten gehörenden globalen DFD erhält
man einen Least-Squares-Schätzwert für die Fahrzeug-
geschwindigkeit $v_{k,k+1}$. Diese $v_{k,k+1}$ des Fahrzeugs wird
in der dem horizontalen Suchverfahren vorausgehen-
den Geschwindigkeitskompensation 51 nach Fig. 5 be-
nötigt. Im Anschluß daran werden nach Fig. 5 durch
horizontales Matching, einem horizontalen Suchverfah-
ren, die horizontalen Verschiebungen $d_{k,k+1}$ zwischen
korrespondierenden Meßzellen bestimmt. Das Verfah-
ren des horizontalen Matchings ist dem Verfahren zur
Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit sehr ähnlich.
Zunächst müssen die y-Koordinaten y_k der Mittelpun-
kte der korrespondierenden Meßzellen durch Verschie-
ben der Meßzellen M_k des vorhergehenden Bildes ent-
lang der Modellkurve entsprechend der aktuellen Fahr-
zeuggeschwindigkeit $V_{k,k+1}$ bestimmt werden 52. Aus
der Geschwindigkeit und der Zeitdifferenz zwischen
zwei aufeinanderfolgenden Bildern läßt sich die Strecke
bestimmen, die das Fahrzeug in der Realität zurückge-
legt hat. Aus der Strecke wird die korrespondierende
Verschiebung im Bild bzgl. der y-Koordinate des Mittel-
punktes der Meßzelle berechnet. Die x-Koordinate er-
gibt sich aus der Modellgleichung, da x eine Funktion
von y und den Modellparameter a_i ist. Somit kann zw-
ischen korrespondierenden Meßzellen näherungsweise,
noch unter Vernachlässigung der horizontalen Ver-
schiebung $d_{k,k+1}$, eine Beziehung zwischen der Position



einer Meßzelle n im aktuellen Bild und deren vorheriger Lage im zeitlich älteren Bild hergestellt werden. Anschließend werden die Meßzellen M_k durch eine Größennadaption mit Grauwertinterpolation bzgl. der mittleren Spaltengrauwerte an die korrespondierenden Meßzellen M_{k+1} angepaßt, um die Meßzelleninhalte miteinander vergleichen zu können. Die horizontalen Verschiebungen $d_{k,k+1}$ zwischen Paaren korrespondierender Meßzellen werden auf der Grundlage des Verfahrens zur Geschwindigkeitsschätzung bestimmt 53. Zu jedem d werden Ähnlichkeitsmaße (DFD) für ein Meßzellenpaar gebildet und durch deren statistische Auswertung innerhalb eines Suchbereichs ein Least-Squares-Schätzwert der horizontalen Verschiebung $d_{k,k+1}$ für jedes Meßzellenpaar ermittelt. Mit $d_{k,k+1}$ lassen sich nun die korrigierten Positionen der Meßzellenmittelpunkte, die Repräsentanten von Fahrbahnrandpunkten sind, im aktuellen Bild $k+1$ angeben. Anhand der somit erfaßten Fahrbahnrandpunkte wird nun ein aktueller Parametersatz a_{k+1} geschätzt.

Für diese Schätzung müssen nach Fig. 6 in Abhängigkeit der Verteilung der erfaßten Punkte auf dem Fahrbahnrandern diejenige Modellparameter gekennzeichnet 61 werden, deren Schätzung möglich ist. So ist z. B. eine Bestimmung der Fahrbahnbreite B dann nicht mehr möglich, wenn nur auf einem Fahrbahnrand Punkte detektiert werden können. Anhand der erfaßten Fahrbahnrandpunkte wird eine Aktualisierung des Modellparametersatzes a_i vorgenommen 62, in dem die nicht lineare Modellgleichung in einem Arbeitspunkt (= zuvor geschätzter Modellparametersatz) linearisiert wird, um dann mittels eines Newton-Verfahrens die Änderung der Modellparameter bzgl. des Arbeitspunktes 63 schätzen zu können.

Fig. 7 zeigt den Ablauf der Schätzung 71 für die Aktualisierung der Modellparameter. Da aufgrund des geringen zeitlichen Abstands der aufeinanderfolgenden Videobilder nur kleine Änderungen 72 am Arbeitspunkt zu erwarten sind, wird der Modellparametersatz a_k beim Auftreten wesentlicher Abweichungen nicht aktualisiert 77. Der bisherige Modellparametersatz bleibt ebenfalls bestehen, wenn die Änderungen der Modellparameter nach einer bestimmten Iterationszahl nicht konvergieren 73. Andernfalls werden Aktualisierung des Modellparametersatzes 74 und Schätzung der Modellparameteränderungen so lange wiederholt, bis eine Konvergenz der Modellparameteränderungen erreicht wird. Anschließend wird geprüft 75, ob die ermittelten Modellparameter eine zuverlässige Beschreibung der Fahrbahn liefern 76. Ist das der Fall werden die Parameter übernommen, andernfalls wird einen Auswahl der zu schätzenden Modellparameter genommen 78 und die Aktualisierung rückgängig 79 gemacht.

Für eine zuverlässige Beschreibung der Fahrbahn muß das Verhältnis aus Modellparameter und zugehöriger Standardabweichung $\sigma_{i,k+1}$ der Schätzung unterhalb einer Schwelle liegen.

Zum anderen wird die aufgrund der Standardabweichung eines Modellparameters hervorgerufene Abweichung im Bild von der ermittelten Modellkurve MC_0 betrachtet. Durch Variation jeweils eines der Modellparameter entsprechend seiner Standardabweichung $\sigma_{i,k+1}$ wird eine neue Modellkurve $MC_{i,k+1}$ erzeugt. Aus der Abweichung zwischen den Modellkurven lassen sich Abweichungen in der Wirklichkeit berechnen, die ein Maß für die Zuverlässigkeit der Schätzung darstellen. Falls die Zuverlässigkeit der ermittelten Modellparameter ausreichend ist, kann die Fahrbahn durch den

aktuellen Parametersatz modelliert werden. Andernfalls werden diejenigen Parameter, die zu einer unzuverlässigen Fahrbahnmodellierung führen, von einer weiteren Schätzung ausgeschlossen. Die von einer weiteren Schätzung ausgeschlossenen Werte nehmen die vor der Aktualisierung gültigen Werte an. Die Modellparameter, deren Aktualisierung sinnvoll erscheint, werden daraufhin beginnend mit einer weiteren Schätzung ihrer Änderung neu bestimmt. Die Überprüfung der Modellparameter wird dabei gemäß folgendem Algorithmus durchgeführt:

1. Prüfung der Modellparameter in folgender Reihenfolge:

$$B - \alpha - c_0 - x_0 - \varphi$$

2. Abbruch der Prüfung, sobald ein Modellparameter als unzuverlässig erkannt wird.

3. Unzuverlässiger Modellparameter wird gemäß seines Wertes aus der Schätzung im vorhergehenden Bild konstant gehalten.

4. Aufstellung eines neuen Gleichungssystems, dessen Anzahl unbekannter Modellparameter um eins reduziert ist, nämlich um den konstant gehaltenen Parameter.

5. Neue Schätzung aller unbekannten, nicht konstant gehaltenen Parameter.

6. Ende des Algorithmus, falls alle verbleibenden Parameter zuverlässig geschätzt werden können, oder aber alle Parameter konstant gehalten werden müssen.

7. Fortsetzung des Algorithmus mit Schritt 1.

Nach der Ermittlung des neuen Parametersatzes a_{k+1} werden abschließend die Meßzellen M_{k+1} entsprechend des neuen Fahrbahnmodells plazierte.

Zur Bestimmung der absoluten Lage der Fahrbahnrandern unabhängig vom vorausgehenden Modellparametersatz a_k erfolgt innerhalb eines lokalen Suchbereichs um die aus dem Fahrbahnmodell hervorgehenden Mittelpunkte der Meßzellen eine Korrektur dieser Meßzellenzentren auf der Grundlage eines Gradientenverfahrens nach Fig. 8. Zunächst werden für jeden Fahrbahnrand die maximalen Abweichungen d_{\max} zwischen der Modellkurve und den aus den Variationen der Parameter gemäß ihrer Standardabweichung $\sigma_{i,k+1}$ hervorgehenden Modellkurven im aktuellen Bild bestimmt 81. Diese Abweichungen lassen sich in reale Abweichungen D_{\max} transformieren, so daß in der Wirklichkeit Korrekturbereiche um die Fahrbahnrandern der konstanten Breite $2D_{\max}$ entstehen, deren Mittellinie durch den jeweiligen Fahrbahnrand gebildet wird. Unter Berücksichtigung der Abbildungsgesetze werden diese Korrekturbereiche in Bildkoordinaten rücktransformiert. Gemäß einem aus Veröffentlichungen bekannten Verfahren (Kuhnert, K. D. "Zur Echtzeitbildfolgenanalyse mit Vorwissen", Universität der Bundeswehr München, Januar 1988) werden in den Meßzellen die Kontrastunterschiede vertikal zur Richtung des Fahrbahnrandes ausgewertet 82. Jeder Ort eines maximalen lokalen Kontrastunterschiedes repräsentiert einen Kandidaten für den Fahrbahnrandpunkt innerhalb der Meßzelle. Der bzgl. des Meßzellenzentrums geeignetste Kandidat wird als möglicher Fahrbahnrandpunkt ausgewählt 83 und falls dieser innerhalb des zuvor bestimmten Korrekturbereichs um den modellierten Fahrbahnrand gelegen ist, wird seine horizontale Position d_{k+1} , korrekt



korrigiert 84.

Zum Abschluß des Verfahrens der dynamischen Spurverfolgung in aufeinanderfolgenden Videobildern nach Fig. 3 wird unter Verwendung der korrigierten Mittelpunkte der Meßzellen 33 der bisherige Modellparameter 32, siehe Fig. 6 und 7, aktualisiert, so daß ein aktueller Parametersatz für das aktuelle Bild dargestellt wird.

Bezugszeichenliste

- 11 Geschwindigkeitsbestimmung
- 12 Spurverfolgung mit Matching-Verfahren
- 13 Erstes Fahrbahnmodell
- 14 Spurverfolgung mit Gradientenverfahren
- 15 Endgültiges Fahrbahnmodell
- 31 Horizontales Matching
- 32 Schätzung der Modellparameter
- 33 Gradientenkorrektur
- 41 Plazierung der Meßzellen M_k und M_{k+1}
- 51 Plazierung der Meßzellen M_k und Geschwindigkeitskompensation
- 52 Größenadaption der Meßzellen M_k
- 53 Bestimmung der horizontalen Verschiebung
- 61 Kennzeichnung der zu schätzenden Parameter
- 62 Aktualisierung des Modellparametersatzes
- 63 Neuplazierung der Meßzellen M_{k+1}
- 71 Schätzung der Modellparameteränderungen
- 72 Arbeitspunkt wesentlich verändert?
- 73 Konvergenz aller Modellparameteränderungen?
- 74 Aktualisierung des Modellparametersatzes
- 75 Prüfung der geschätzten Modellparameter
- 76 Modellparameter okay?
- 77 Aktualisierung des Modellparametersatzes rückgängig machen
- 78 Auswahl der zu schätzenden Modellparameter
- 79 Aktualisierung des Modellparametersatzes rückgängig machen
- 81 Bestimmung des Gradientenkorrekturbereichs
- 82 Bestimmung des mittleren Gradienten
- 83 Auswahl der Fahrbahnrandpunktkandidaten
- 84 Bestimmung des Korrekturmaßes.

Patentansprüche

1. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit durch elektronische Aufnahmen von Bildern des Straßengeschehens mit einer Videokamera und einer Recheneinheit, in der der Verlauf der Straße als mathematisches Modell mit einem Parametersatz a_i charakterisiert und gespeichert wird, wobei die Fahrbahnrandpunkte, die den Verlauf der Straße markieren aus dem elektronisch aufgenommenen Bild ermittelt werden und für das Verfahren als Meßpunkte in definierten Meßzellen dienen, dadurch gekennzeichnet, daß folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

- a) Geschwindigkeitsbestimmung durch Meßzellenvergleich des aktuellen mit dem zuvor aufgenommenen Bild unter Verwendung eines Parametersatzes a_i ,
- b) Horizontaler Vergleich von Bildbereichen,
- c) Schätzung der Modellparameter a_i' ,
- d) Gradientenkorrektur der Meßzellen im Bereich der horizontalen Eingrenzung,

e) Schätzung der Modellparameter a_i'' .

2. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Modellparameter a_i'' als Basis für die Geschwindigkeitsbestimmung der nächsten Messung herangezogen werden.

3. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit durch Verschieben der Meßzellen in zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern entlang der Fahrbahnrande gemäß des Fahrbahnmodells gemessen wird, wobei die Messung durch Bildung von geschwindigkeitsabhängigen globalen Ähnlichkeitsmaßen (DFD Displaced Frame Difference) über alle Meßzellen, sowie durch eine statistische Auswertung aller Ähnlichkeitsmaße mit Least-Square-Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit gewichtet wird.

4. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrbahnrandpunkterfassung nach der Geschwindigkeitskompensation durch eine Least-Square-Schätzung der horizontalen Verschiebungen zwischen korrespondierenden Meßzellen in aufeinanderfolgenden Bildern mit statistischem Analyseverfahren und der Ermittlung des Gradientenkorrekturbereichs anhand der Standardabweichung aus der Modellparameterschätzung und anschließender lokaler Gradientenkorrektur der detektierten Fahrbahnpunkte innerhalb des Korrekturbereichs erfolgt.

5. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten Modellparameter auf ihre Zuverlässigkeit bewertet werden, wobei als Maß das Verhältnis aus Standardabweichung und Modellparameter, sowie die resultierende Abweichung von der Modellkurve durch Variation der Modellparameter entsprechend der Standardabweichung gilt.

6. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Ausfall der Bestimmung eines Modellparameters der Parameter des letzten Bildes verwendet wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen



- Leerseite -

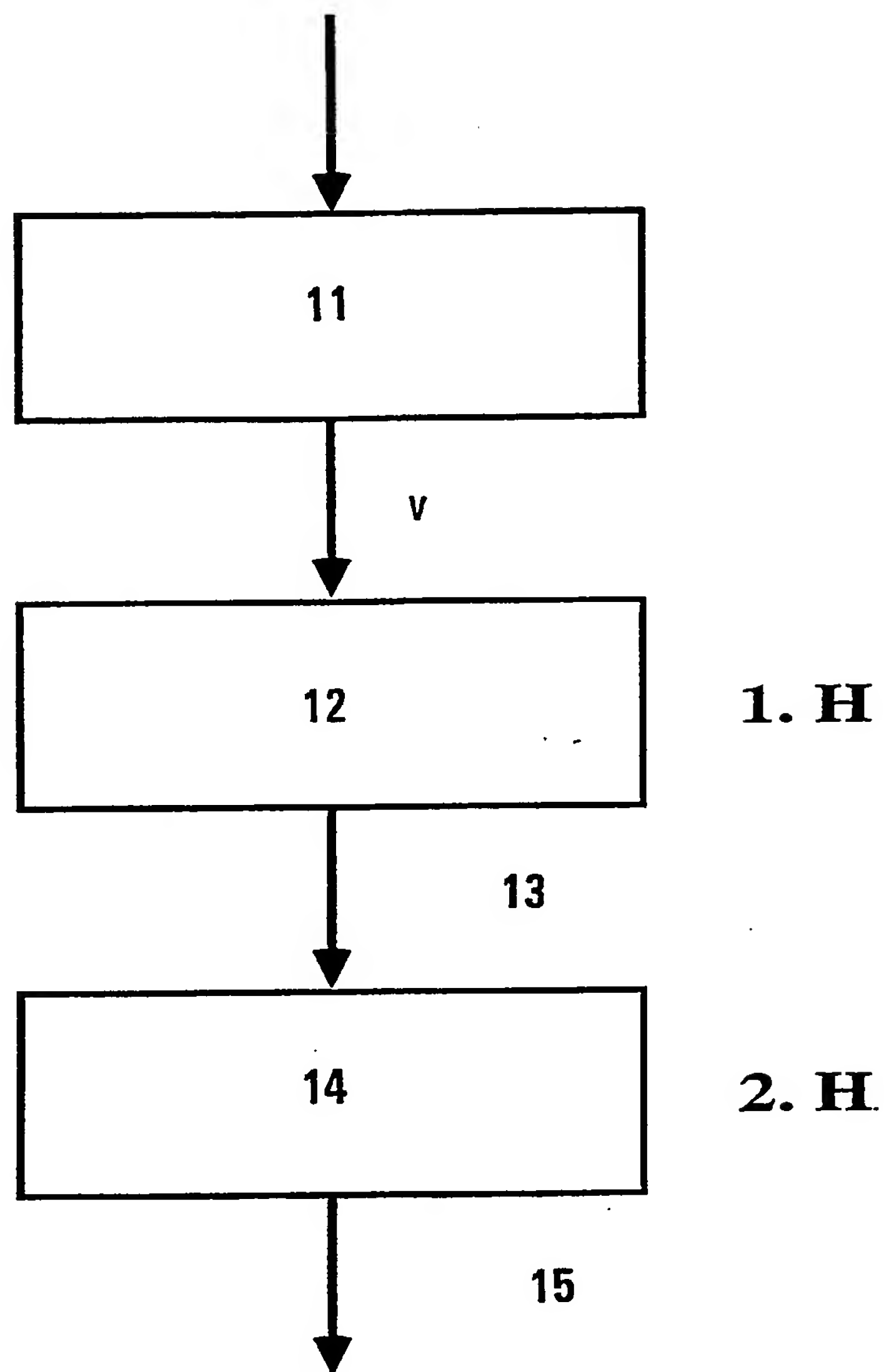


Fig. 1

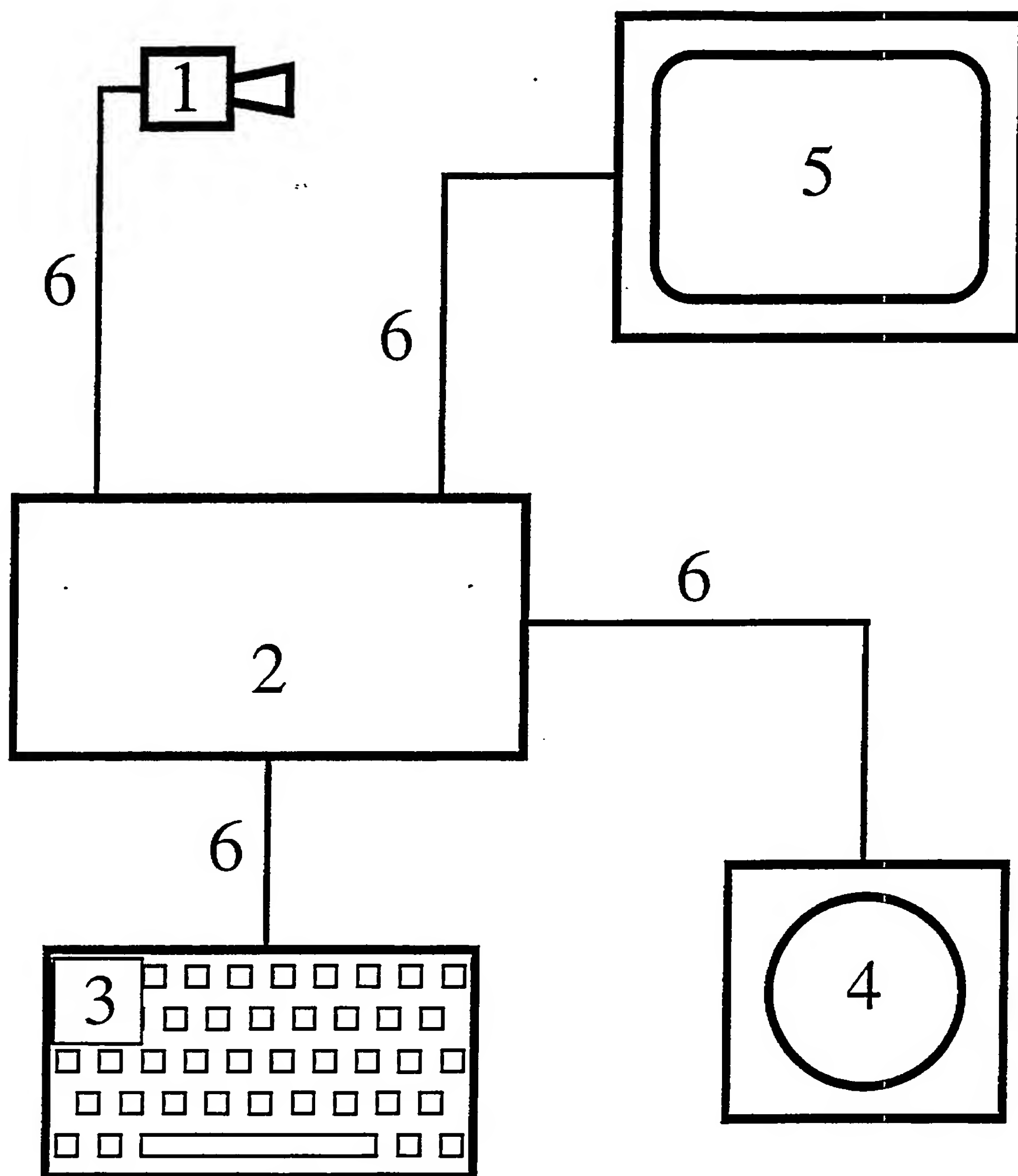


Fig. 2

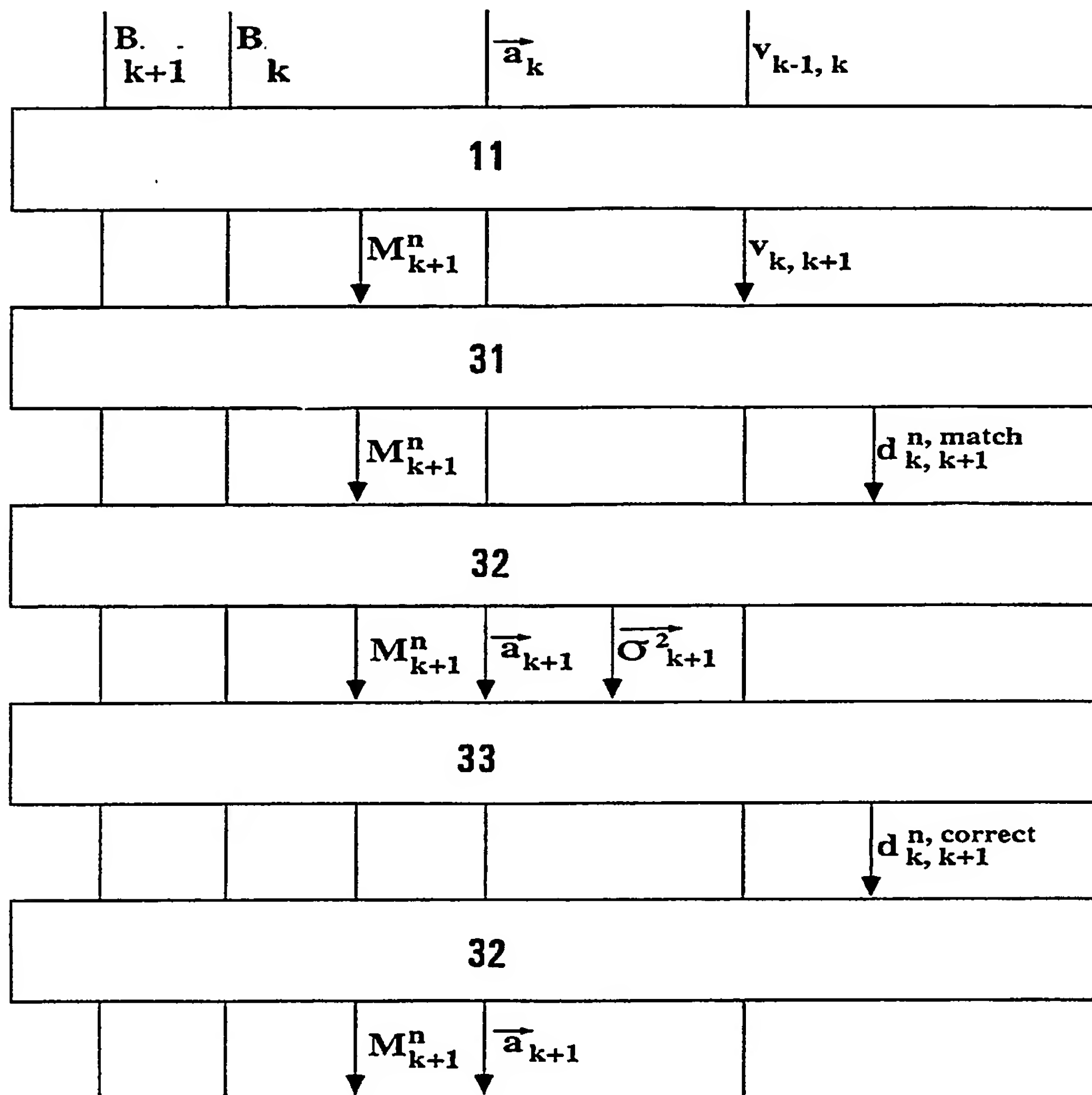


Fig. 3

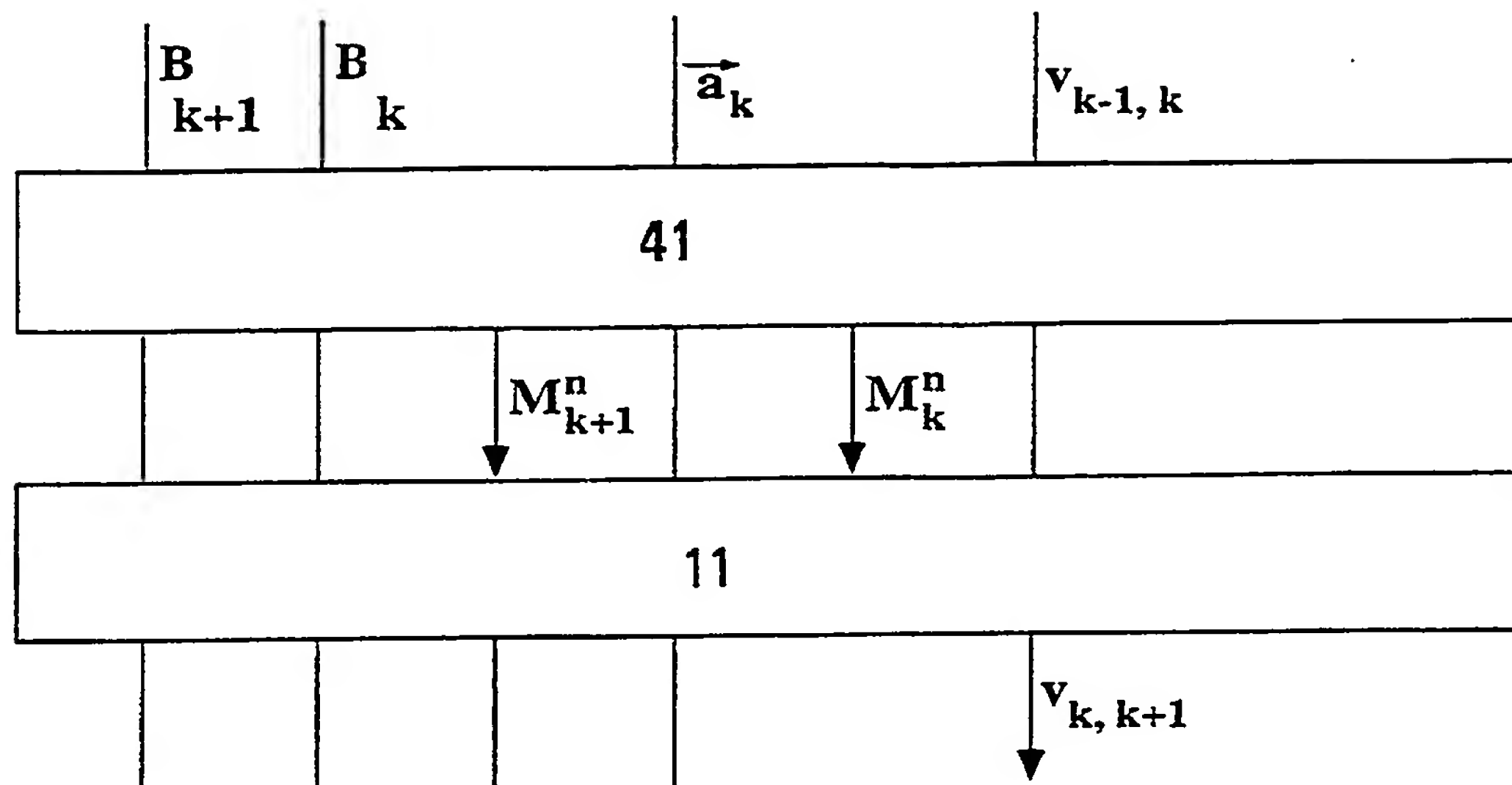


Fig. 4

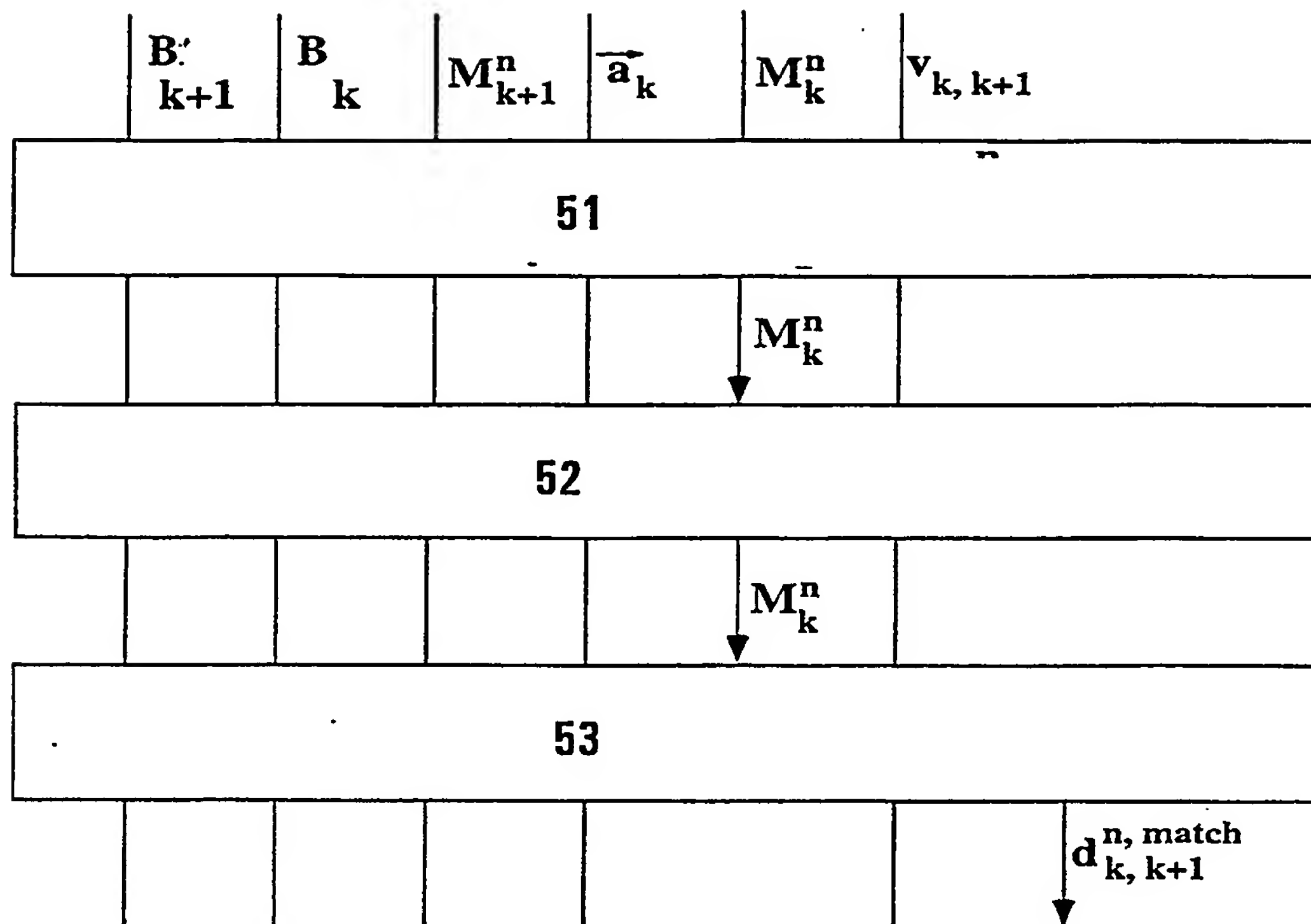


Fig. 5

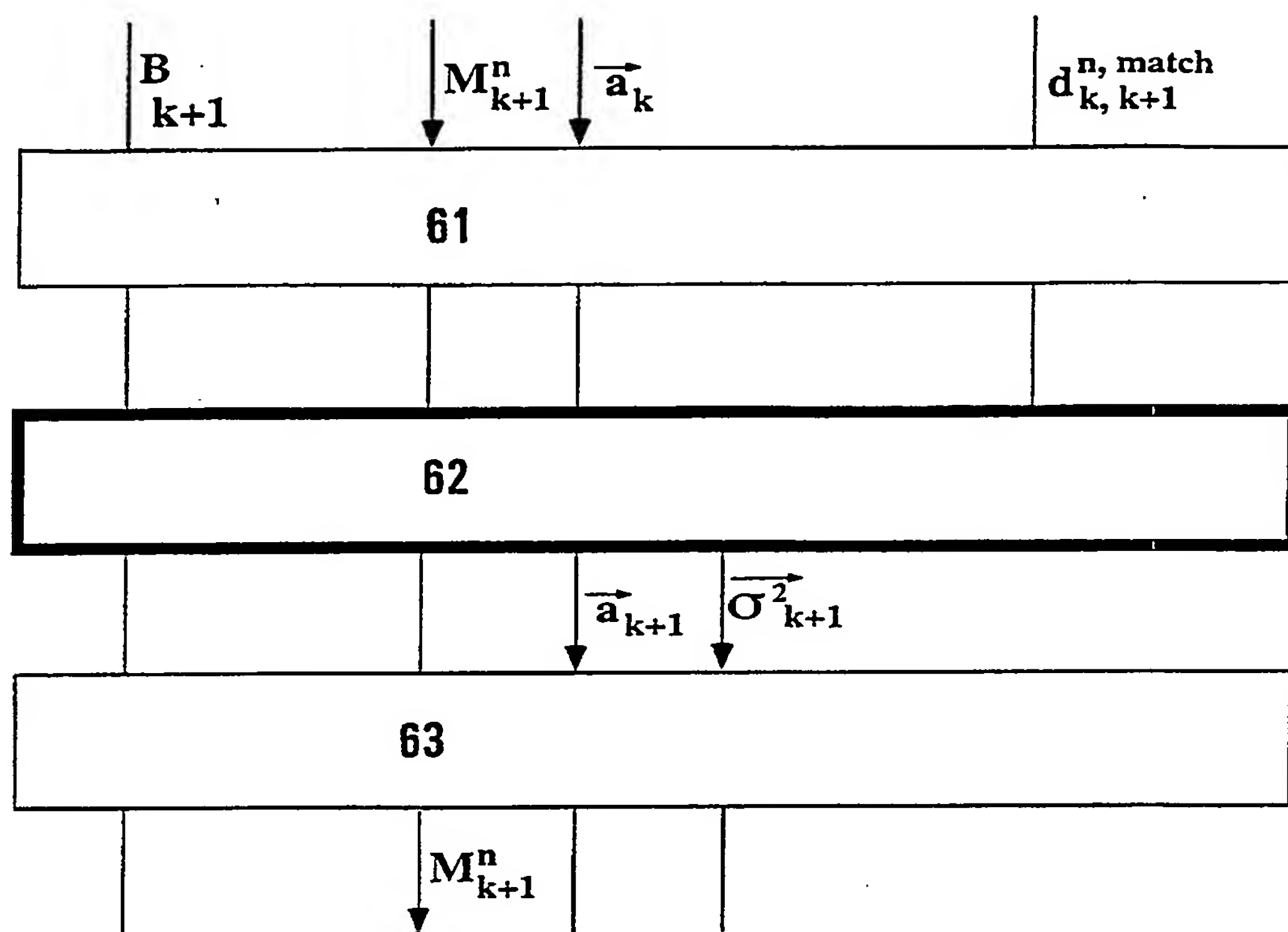


Fig. 6

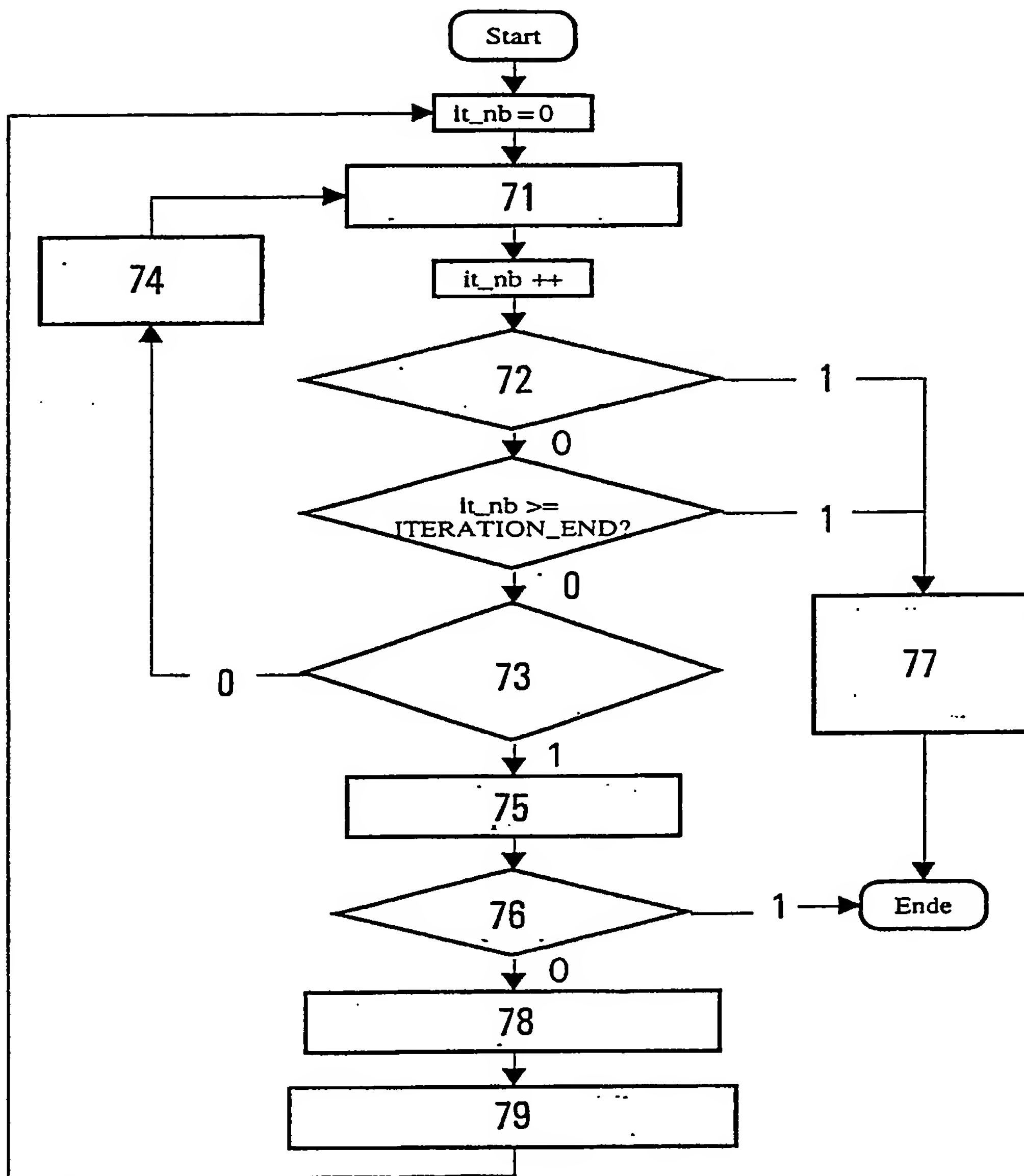


Fig. 7



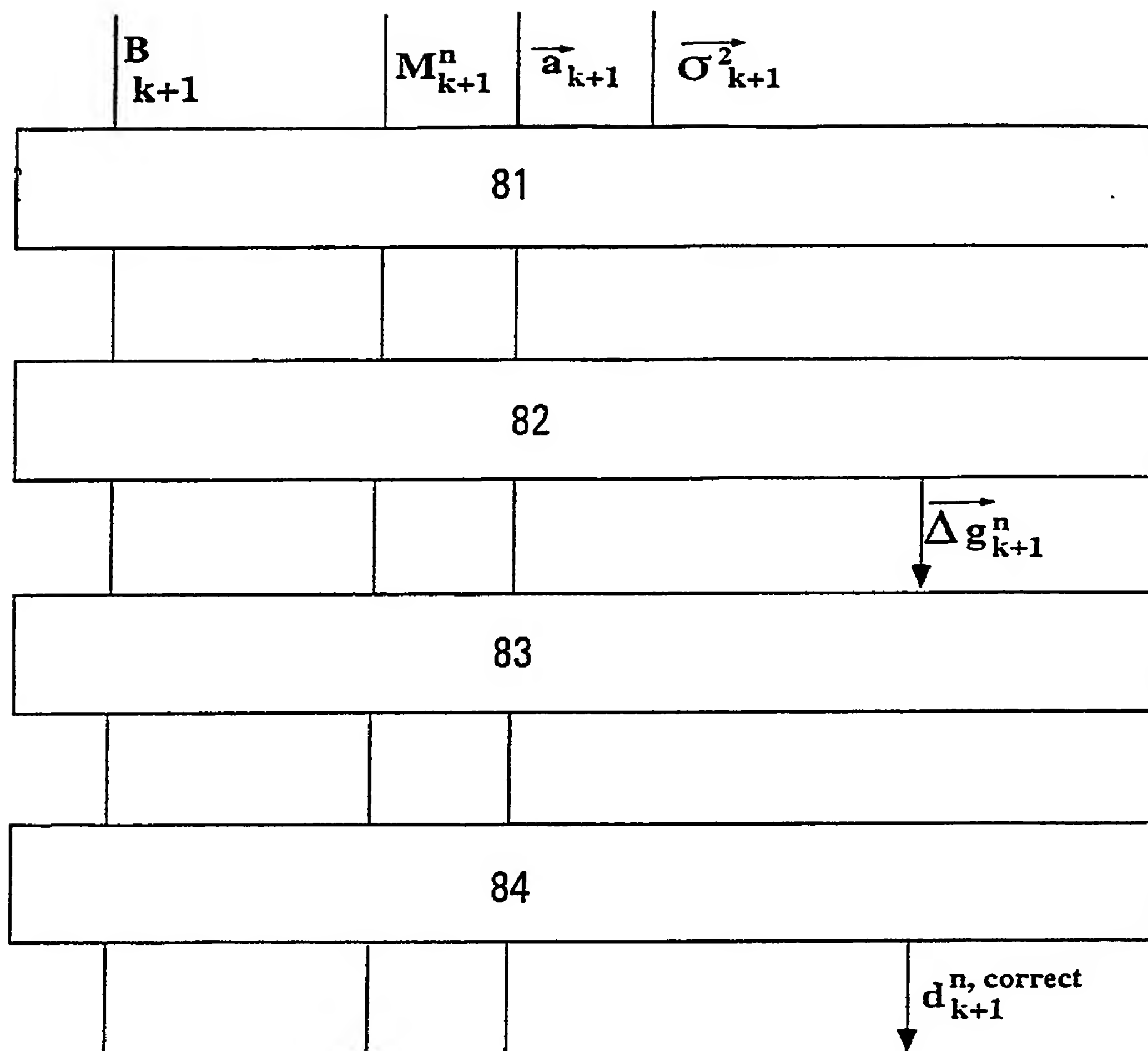


Fig. 8